

ANALISIS PERFORMA PID PADA SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR BLDC



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

MUHAMMAD ABDHUL AZIZ

D400170134

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PERFORMA PID PADA SISTEM KONTROL KECEPATAN
MOTOR BLDC**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

MUHAMMAD ABDHUL AZIZ

D400170134

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Tindyo Prasetyo, S.T., M.T.

NIK. 819

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERFORMA PID PADA SISTEM KONTROL KECEPATAN
MOTOR BLDC

OLEH
MUHAMMAD ABDHUL AZIZ

D400170134

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 29 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Hasyim Asy'ari, S.T., M.T.)

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Umar, S.T., M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



Ivona Patoni, S.T., M.T. Ph.D

NIK. 0603027401

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Kamis 29 Juli 2021

Penulis



MUHAMMAD ABDHUL AZIZ

D400170134

ANALISIS PERFORMA PID PADA SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR BLDC

Abstrak

BLDC merupakan jenis motor listrik tanpa sikat yang memiliki berbagai keunggulan. Keunggulan diantaranya yaitu efisiensi tinggi, hemat biaya perawatan serta tidak mengeluarkan suara bising terlalu tinggi karena komutasinya dilakukan secara elektronik tanpa brush (siklat). Karena hal itu motor BLDC banyak diminati produsen di berbagai bidang industri, kesehatan, pertanian, dan tidak ketinggalan bidang transportasi kendaraan listrik. Motor ini dikategorikan sebagai PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Namun pada kenyataannya, pengendalian kecepatan motor BLDC memiliki masalah yaitu, output (keluaran) yang dihasilkan tidak sesuai dengan nilai set poin (nilai referensi) yang diinginkan. Sehingga pada saat motor BLDC diaplikasikan menjadi kurang efektif. Dengan demikian dibutuhkan sebuah sistem kendali yang dapat mengatasi masalah tersebut. Sistem kendali tersebut adalah PID (Proporsional, Integral, dan Derivatif). Tujuan dalam penelitian ini adalah mencari nilai parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols, kemudian menganalisis performa dari masing-masing kendali. Pemodelan dan simulasi ini dilakukan memanfaatkan software matlab Simulink. Setelah pemodelan dibangun dan disimulasikan didapatkan parameter PID, dengan nilai K_p 0.6996, nilai K_i 2.3320, dan nilai K_d 0.0525. Kemudian respon transient dan tanggapan sistem dari masing-masing kendali dibandingkan dan dilihat dari

hasil performa yang paling baik dari penelitian ini adalah kendali PI.

Kata Kunci: BLDC, Matlab simulink, Kecepatan, PID.

Abstract

BLDC is a type of brushless electric motor that has various advantages. The advantages include high efficiency, saving maintenance costs and not making too much noise because the commutation is done electronically without a brush. Because of this, BLDC motors are in great demand by manufacturers in various fields, industry, health, agriculture, and do not miss the field of electric vehicle transportation. This motor is categorized as PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). But in reality, controlling the speed of BLDC motors has a problem, namely, the resulting output often does not match the desired set point value (reference value). So when the BLDC motor is applied it becomes less effective. Thus we need a control system that can overcome these problems. The control system is PID (Proportional, Integral, and Derivative). The purpose of this study is to find the PID parameter value using the Ziegler-Nichols method, then analyze the performance of each controller. This modeling and simulation is carried out using the matlab Simulink software. After the modeling is built and simulated, the PID parameter is obtained, with a K_p value of 0.6996, a K_i value of 2.3320, and a K_d value of 0.0525. Then the transient response and system response from each controller are compared and seen from the results of the best performance from this study is the PI controller.

Keywords: BLDC, Matlab simulink, Speed, PID.

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya zaman, kehidupan manusia terus mengalami perubahan. Salah satu perubahan yang tidak bisa dihindari manusia yaitu kemajuan teknologi. Teknologi berperan sangat penting dalam menunjang kualitas hidup manusia. Tak heran jika manusia saling berlomba untuk meningkatkan kapasitas ilmunya supaya dapat berperan dalam menemukan teknologi baru yang bermanfaat bagi manusia lainnya. Contoh penemuan yang mengalami kemajuan pesat yaitu motor listrik. Motor listrik adalah perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada perkembangan teknologi, penggunaan motor listrik semakin berkembang. BLDC merupakan sebuah PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) merupakan motor synchronous tiga fasa tanpa sikat. Motor BLDC merupakan pengembangan dari motor DC. Sejarah perkembangan motor BLDC diawali dengan ditemukannya magnet permanen pada tahun 1980-an, pada tahun 1980-an akhir Robert E. Lordo dari *POWERTEC Industri Corporation* membuat BLDC motor yang memiliki ukuran lebih besar dari yang telah dikembangkan sebelumnya, kekuatan yang dimiliki hampir mencapai sepuluh kali kekuatan *brushless Direct Current* motor yang sebelumnya (Dwifa & Munadi, 2017).

Motor ini memiliki rotor berupa permanen magnet dan stator berupa belitan yang menghasilkan medan magnet. Pada motor BLDC medan magnet stator berputar dengan medan magnet rotor pada kecepatan yang sama. Tidak seperti motor DC *brushed*, motor BLDC dikendalikan secara elektronik (*sensor hall*) tanpa sikat. Sehingga mempunyai keuntungan seperti rasio inersia/torsi tinggi efisiensi tinggi, jangkauan pengaturan kecepatan yang besar dan rendahnya *electro- magnetic interference* (EMI) menjadi sebab motor BLDC merupakan pilihan yang tepat dalam banyak aplikasi di kehidupan sehari-hari seperti pada peralatan rumah tangga, industri, dan kesehatan (A. S. & Mulyana, 2019). Selain itu keuntungan lain dari motor BLDC terletak pada biaya perawatan yang rendah, umur yang lama serta tidak menimbulkan suara yang bising. Motor BLDC diminati oleh banyak produsen dari bidang industri, transportasi, hingga militer sekalipun. Untuk melihat performa motor BLDC dapat dilakukan dengan cara pembacaan karakteristik motor dari nilai *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *error steady state*. Sehingga diperlukan sistem kendali kecepatan yang mampu memperbaiki performa motor BLDC (Anugrah, 2020).

Pada dunia rekayasa kendali, pengendalian dengan PID sudah banyak diterapkan. Sistem kendali PID merupakan pengontrolan gabungan dari tiga macam kendali yaitu, kendali *proportional*, kendali integral, dan kendali *derivative* (Rohman & Nur Huda, 2019). PID memiliki kesederhanaan struktur, kemudahan dalam proses penalaan parameter kontrolnya. Hal tersebut membuat PID

semakin populer. Bahkan pada tingkat pengoperasiannya, seorang operator tidak dituntut untuk menguasai pengetahuan matematika yang relatif rumit, melainkan hanya dibutuhkan pengalaman lapangan serta sedikit pengetahuan teori kontrol dasar saja (Setiawan, 2008).

PID dapat menangani banyak masalah dalam sistem kendali. PID bekerja dengan cara menghitung error $e(t)$ kemudian dibandingkan dengan nilai referensi lalu dikoreksi berdasarkan nilai proporsional, integral, dan derivatif. PID sangat berguna dalam mencapai nilai referensi yang diinginkan karena PID dapat mengatasi masalah-masalah perubahan nilai yang naik turun atau fluktuatif dan menciptakan sistem yang responsif terhadap gangguan lain (Simbolon, 2020).

Namun dalam penerapan PID ada parameter yang harus dipenuhi agar sistem dapat stabil. Parameter tersebut adalah K_p , K_i , dan K_d . Dengan adanya latar belakang masalah diatas, penulis akan mencari ketiga parameter PID tersebut agar *controller* dari sistem kendali kecepatan motor BLDC ini bekerja dengan baik. Setelah K_p , K_i , dan K_d berhasil ditemukan maka akan dilakukan uji coba untuk mengetahui respon sistem dari pengendali yang dibuat. Kemudian masing-masing pengontrolan akan dibandingkan dan dilakukan analisis.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana cara memodelkan sistem kendali PID untuk kecepatan motor BLDC pada Matlab?
2. Bagaimana cara melakukan tuning nilai PID menggunakan metode Ziegler-Nichols?
3. Berapa parameter nilai K_p , K_i , dan K_d yang diperoleh?
4. Bagaimana performa dari kendali P (Proporsional), PI (Proorsional dan Integral), dan PID (Proporsional, Integral, dan Derivatif) mana yang paling bagus?

1.3. Batasan Masalah

1. Pada penelitian ini *plant* yang dikendalikan adalah motor BLDC dengan merujuk paper yang berjudul *Practical Modelling and Comprehensive System Identification of a BLDC Motor*.
2. Penelitian ini menggunakan metode Ziegler-Nichols untuk penalaan parameter nilai PID.
3. Hasil serta pembahasan pada penelitian ini menjelaskan performa kendali P, PI, dan PID berdasarkan metode *tuning* yang dipakai.
3. Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* Matlab Simulink.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Membuat sistem kendali PID kecepatan motor BLDC yang memiliki respon sistem dengan nilai *steady state error* 0 rpm serta nilai *overshoot* minimal.
2. Memanfaatkan metode Ziegler-Nichols sebagai penalaan parameter PID.
3. Mengetahui nilai Kp, Ki, dan Kd serta performa dari kendali P, PI, dan PID.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis dapat memahami cara membuat kendali PID kecepatan motor BLDC dengan Matlab.
2. Memberikan tambahan pengetahuan tentang penalaan PID dengan metode Ziegler-Nichols.
3. Dengan adanya sistem kendali yang stabil menjadikan penggunaan motor BLDC lebih efektif.

2. METODE

Dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini, penulis menggunakan empat tahapan penelitian sebagai langkah acuan, agar penelitian sesuai dengan tujuan yang diharapkan, maka setiap langkah pada proses penelitian perlu dimengerti dengan baik.

1) Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan sebuah proses dalam menemukan sebuah masalah yang ingin diselesaikan. Dalam penelitian ini identifikasi masalah berawal dari ketertarikan penulis terhadap teknologi mesin listrik yang semakin berkembang dan mendapat banyak perhatian. Terutama dengan munculnya berbagai macam isu yang sangat serius yang berhubungan dengan energi bersih. Hal ini mendorong penggunaan mesin atau motor listrik semakin banyak diminati oleh kalangan produsen. Kenaikan penggunaan mesin listrik saat ini akan terus berkembang. Pada penelitian ini penulis tidak berbicara tentang perancangan sebuah mesin listrik, melainkan penerapan algoritma sistem kendali yang membuat penggunaan mesin listrik akan lebih efektif. Motor BLDC merupakan salah satu dari beberapa macam mesin listrik yang memiliki beberapa keunggulan. Kemudian dalam penelitian ini penulis akan membuat perencanaan kendali PID pada kontrol kecepatan motor BLDC sehingga dapat mempengaruhi kinerja dari sebuah motor BLDC.

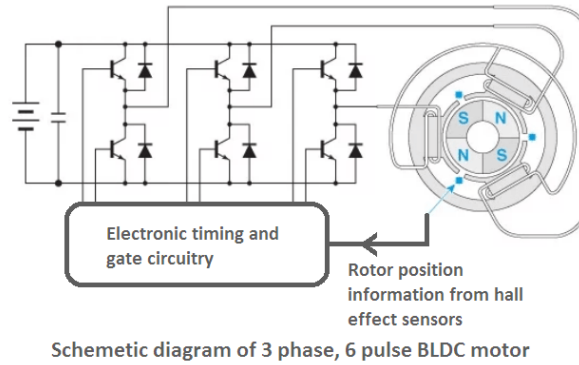
2) Studi Literatur

Setelah proses identifikasi masalah selesai, maka proses selanjutnya adalah studi literatur. Studi literatur merupakan proses yang dapat membantu penulis dalam membangun ilmu pengetahuan berdasarkan kegiatan belajar, membaca, dan mencatat. Studi literatur difokuskan pada masalah yang berkenaan dengan topik penelitian. Adapun media yang dipakai dalam studi literatur di penelitian ini yaitu, jurnal, buku, dosen pembimbing, serta youtube.

2.1. Motor BLDC

Motor BLDC adalah motor yang mempertahankan karakteristik motor DC, tetapi menghilangkan komutator dan sikat, sehingga disebut motor brushless DC. Motor *brushless* DC (BLDC) pada sejumlah kasus menggantikan motor DC konvensional karena komutasinya dilakukan secara elektronik. Motor BLDC tersedia dalam berbagai tingkatan daya, dari motor yang sangat kecil seperti yang digunakan pada *hard disk drive* hingga motor besar di kendaraan listrik. Motor ini memiliki keunggulan dibanding dengan motor DC dengan sikat, beberapa diantaranya yaitu rentang kecepatan dan efisiensi yang lebih tinggi, karakteristik torsi, dan kecepatan yang lebih baik, umur operasi yang panjang, operasi tanpa suara, dan respon dinamis yang lebih tinggi (Prasad et al., 2012).

Tidak seperti motor DC *brush*, pergantian motor BLDC dikontrol secara elektronik. Untuk memutar motor BLDC, belitan stator harus diberi energi secara berurutan. Maka dari itu sangat penting mengetahui posisi rotor untuk memahami belitan mana yang akan diberi energi mengikuti urutan pemberian energi. Sensor efek *Hall* yang disematkan ke stator berfungsi sebagai pendeteksi rotor. Sebagian besar motor BLDC memiliki tiga sensor *Hall* yang disematkan ke stator di ujung non-penggerak motor. Pada saat kutub magnet rotor berada di dekat sensor *Hall* memberikan sinyal tinggi atau rendah, yang menunjukkan kutub N atau S lewat di dekat sensor. Berdasarkan kombinasi dari tiga sinyal sensor *Hall* ini, urutan pergantian yang tepat dapat ditentukan (Padmaraja Yedamale, 2003).



Gambar 1. Skema Motor BLDC

Motor berputar, magnet permanent rotor akan bergerak melewati kumparan stator dan menginduksi listrik potensial dalam kumparan tersebut. Hal ini yang disebut *Back electromotive force* atau BEMF. BEMF berbanding lurus dengan kecepatan motor yang ditentukan dari tegangan konstan motor k_v . Kecepatan motor dc dapat diatur dengan cara mengatur besar tegangan yang masuk. Rumus kecepatan putar motor dc (ω) dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\omega = \frac{V_t - I_a R_a}{K_\phi} \quad (rad/sec) \quad (1)$$

V_t merupakan tegangan masukan motor dalam volt, I_a adalah arus masukan motor dalam amp. R_a merupakan hambatan jangkar motor dalam ohm, K_ϕ adalah pluks magnetik, ω kecepatan motor dalam rad/sec, E_a ggl lawan dari jangkar dan T adalah torsi dalam N.m. Kecepatan motor dc berbanding lurus dengan suplai tegangan, sehingga jika suplai tegangan dikurangi akan menyebabkan kecepatan motor menurun sebaliknya jika suplai tegangan ditambah maka kecepatan motor akan bertambah (Baharuddin, 2014). Pada penelitian ini motor BLDC yang digunakan mempunyai estimasi parameter dan fungsi sebagai berikut (Xiang et al., 2015) :

Tabel 1. Parameter BLDC motor

System parameter	Symbol	Value	Unit
Rotor inertia	J	0.00061	Kg.m ²
Voltage constant	K_e	0.0637	V/(rad/s)
Torque constan	K_t	0.2663	Nm/A
Armature resistance	R_a	0.6187	ohm
Armature inductance	L_a	2.62	mH
Friction Coeffecient	K_f	0.00291	N/(rad/s)
Time constant of the esc model	τ	0.0781	s

$$H_{\omega}(S) = \frac{2057342}{s^3 + 189.5s^2 + 13412s + 142834}$$

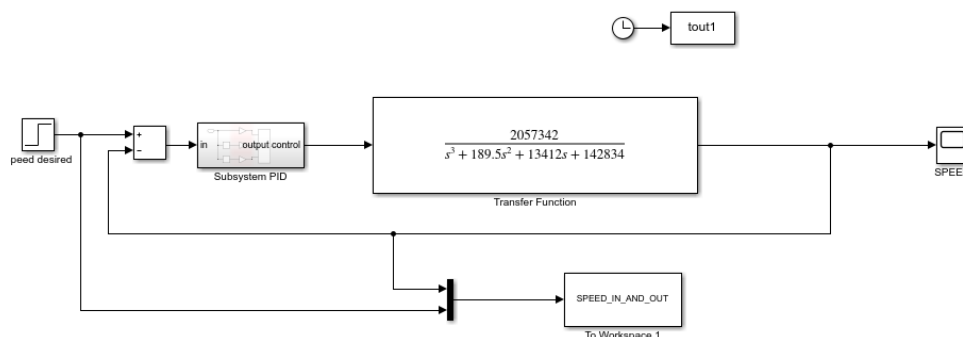
3) Perancangan Teknik Kendali dan Sistem Kontrol

a) Software Matlab

Matlab merupakan sebuah *software* yang dapat melakukan suatu analisis dan komputasi numerik. Matlab ditemukan oleh seorang professor bernama Cleve Moler seorang matematikawan dan pemograman komputer handal. Pada awalnya, program ini adalah *interface* sebagai koleksi rutin-rutin *numeric* dari proyek *LINPACK* dan *EISPACK*, dan dikembangkan menggunakan bahasa *FORTRAN* namun saat ini merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. Dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB) (Cahyono, 2016).

Ruang lingkup penggunaan pada matlab diantaranya adalah:

- ❖ Pemodelan sistem matematis
- ❖ Pengolahan data matematis (sinyal, citra, dan lain-lain)
- ❖ Simulasi, baik yang *real time* maupun tidak
- ❖ Visualisasi 2D dan 3D
- ❖ *Tools* analisis & testing



Gambar 2. Rangkaian Kendali PID dengan Matlab

Pada penelitian ini penulis menggunakan aplikasi Matlab Simulink sebagai pemodelan dari sistem kendali PID kecepatan motor BLDC. Penulis memanfaatkan beberapa *library* Simulink yang dapat membantu proses analisis respon dari sebuah sistem kendali. Adapaun nama *library* tersebut yaitu *step* yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal atau mengatur nilai referensi *set point*. *Sum* atau penjumlahan berfungsi sebagai pembanding antara nilai referensi dan nilai keluaran sistem. Subsistem PID berfungsi sebagai pengontrol sistem yang bekerja dengan cara mengalikan nilai *error* dengan nilai kontrolnya. Dalam implementasi nilai *error* dikalikan dengan nilai pengontrol P (Proporsional) nilai K_p , Pengontrol PI (Proporsional dan Integral) nilai K_p dan K_i , dan Pengontrol PID (Prporsional, Integral, Derivatif) nilai K_p , K_i , dan K_d . Selanjutnya ada *transfer function* atau fungsi alih berfungsi sebagai *plant* dari sistem kendali dalam bentuk matematis, dalam penelitian ini adalah motor BLDC. Kemudian ada *scope* berfungsi untuk menampilkan keluaran sistem berupa grafik. Selanjutnya ada *to workspace* dan juga *mux* berfungsi untuk menyimpan data yang terhubung dengan halaman *workspace*.

b) Penalaan Parameter PID Menggunakan Metode Ziegler-nichols

Sebelum masuk pada proses penalaan parameter PID, lebih baik jika diketahui karakteristik masing-masing sistem kontrol PID.

Tabel 2. Karakteristik Kendali PID

Tipe Kontroller	<i>Settling Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Steady State Error</i>
K_p	Δ	\uparrow	\downarrow	\downarrow
K_i	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow
K_d	\downarrow	\downarrow	Δ	Δ

Penyetelan parameter kontroler PID selalu didasarkan pada tinjauan terhadap karakteristik yang diatur *plant*. Ziegler-Nichols merupakan suatu metode *tuning* yang umum dipakai pada sistem kendali. Metode ini mulai diusulkan pada tahun 1942 (Umam et al., 2014). Pada proses penalaan PID dilakukan dengan cara yang pertama yaitu megatur nilai K_i dan K_d sama dengan nol. Kemudian menaikkan nilai K_p dari nol hingga diperoleh nilai *critical gain* (K_{cr}) nilai ini ditunjukkan dengan hasil gelombang yang berosilasi berkelanjutan. Dari gelombang tersebut nilai periodenya disebut P_{cr} . Setelah itu parameter PID akan diperoleh menggunakan tabel 3.

Tabel 3. Tabel Ziegler-Nichols

Tipe Kontroller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

4) Uji Coba Hasil Penelitian

Setelah pemodelan dibuat dan parameter PID diperoleh, tahapan berikutnya adalah pengujian sistem. Sistem diuji kemudian diambil beberapa data seperti, *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady state error*.

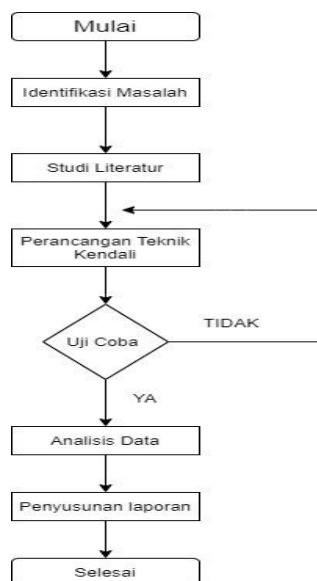
5) Analisis Data Sistem Kendali

Tahapan selanjutnya adalah analisis, analisis dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari tahap sebelumnya yaitu uji coba hasil penelitian. Pada penelitian ini analisis berfokus pada performa sistem kendali P, PI, dan PID.

6) Pembuatan Laporan

Tahap terakhir pada penelitian ini yaitu pembuatan naskah publikasi sebagai syarat mendapat gelar sarjana dari status mahasiswa. Laporan dibuat dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

7) Diagram Alir Penelitian

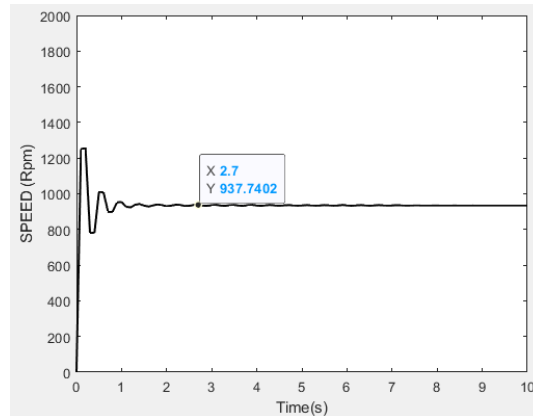


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tanggapan Sistem Tanpa PID

Tanggapan dari respon *transient* tanpa PID dengan nilai set point 1000 rpm. Respon *transient* nampak seperti gambar 4. Adapun informasi tentang tanggapan sistem akan ditampilkan pada tabel 4.



Gambar 4. Respon *Transient* Tanpa PID

Tabel 4. informasi tanggapan sistem tanpa PID

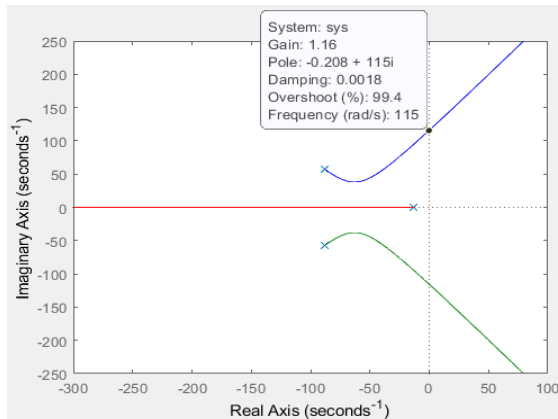
Parameter	Nilai
<i>Overshoot</i>	34.3211
<i>Rise time</i>	0.0598
<i>Settling time</i>	1.0003
<i>Steady state error</i>	63 Rpm

Dari tabel 4. terlihat bahwa nilai tanggapan sistem tanpa PID memiliki nilai *overshoot* sebesar 34.3211, *rise time* 0.0598, *settling time* 1.0003, dan *steady state error* sebesar 63 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa kendali PID *overshoot* dari tanggapan sistem cukup besar dan terdapat *steady state error* sebesar 63 rpm.

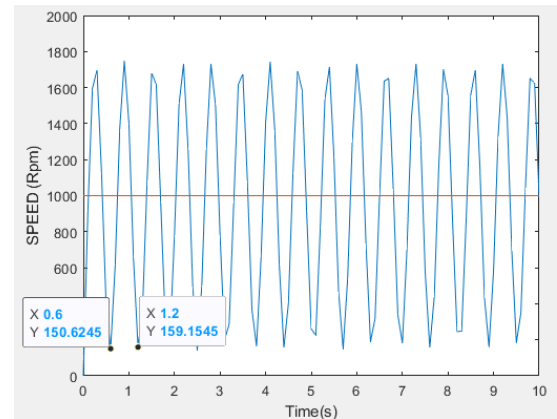
B. Grafik *Root Locus*

Pada saat penalaan parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols maka perlu mencari nilai *Kcr* dan *Pcr* sehingga dapat dihitung parameter *Kp*, *Ki*, dan *Kd* sesuai dengan tabel 3. Dengan memanfaatkan editor pada Simulink dengan perintah menampilkan *root locus* maka didapatkan grafik seperti gambar 5. Setelah nilai *Kcr* diperoleh maka kita uji coba dengan mengatur nilai *Kp*

dengan nilai K_{cr} serta mengonolkan nilai K_i , dan K_d . Sehingga diperoleh gelombang *sustain oscillation* pada gambar 6. Dengan nilai periode 0.6.



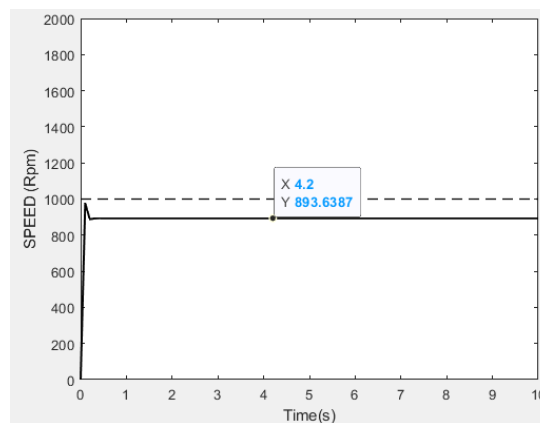
Gambar 5. Grafik *Root Locus*



Gambar 6. Gelombang *Sustain Oscillation*

C. Tanggapan Sistem Kendali P (Proporsional)

Tanggapan *close loop* dengan nilai *set point* 1000 rpm. Respon *transient* nampak seperti gambar 7. Adapun informasi tentang tanggapan sistem akan ditampilkan pada tabel 5.



Gambar 7. Respon Transien Kendali P

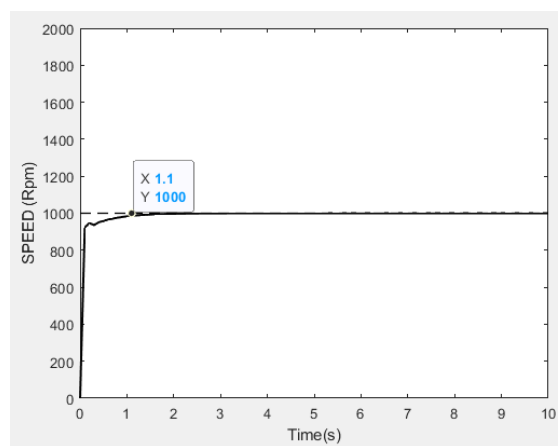
Tabel 5. Informasi tanggapan sistem kendali P

Parameter	Nilai
<i>Overshoot</i>	9.2991
<i>Rise time</i>	0.0732
<i>Settling time</i>	0.1738
<i>Steady state error</i>	107 rpm

Dari tabel 5. terlihat bahwa nilai tanggapan sistem dari kendali P memiliki nilai *overshoot* sebesar 9.2991, *rise time* 0.0732, *settling time* 0.1738, dan *steady state error* sebesar 107 rpm. Menunjukkan bahwa dengan memakai kendali P tanggapan sistem masih memiliki nilai *steady state error* yang tinggi namun nilai *overshootnya* menurun.

D. Tanggapan Sistem Kendali PI (Proporsional dan Integral)

Tanggapan *close loop* dengan nilai set point 1000 rpm. Respon *transient* nampak seperti gambar 8. adapun informasi tentang tanggapan sistem akan ditampilkan pada tabel 6.



Gambar 8. Respon Transient Kendali PI (Proporsional dan Integral)

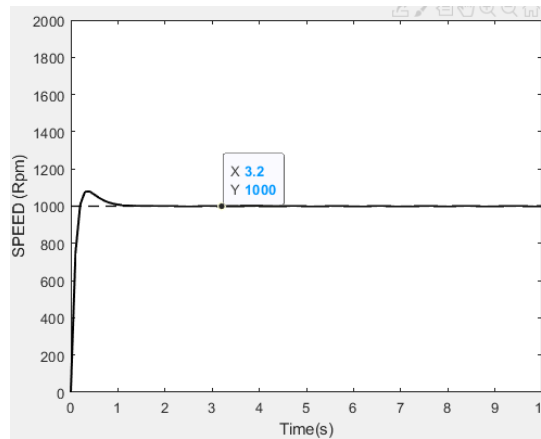
Tabel 6. Informasi Tanggapan Sistem Kendali PI

Parameter	Nilai
<i>Overshoot</i>	5.765
<i>Rise time</i>	0.0866
<i>Settling time</i>	0.9021
<i>Steady state error</i>	0 rpm

Dari tabel 6. terlihat bahwa nilai tanggapan sistem dari kendali PI memiliki nilai *overshoot* sebesar 5.765, *rise time* 0.0866, *settling time* 0.9021, dan *steady state error* sebesar 0 rpm. Menunjukkan bahwa dengan menambah K_i pada sistem kendali P. Nilai *overshoot* dari sistem mengalami perbaikan. Bahkan nilai *steady state error* dari kendali PI mengalami penurunan dari 107 rpm ke 0 rpm.

E. Tanggapan Sistem Kendali PID (Proporsional, Integral dan Derivatif)

Tanggapan *close loop* dengan nilai *set point* 1000 rpm dengan kendali PID. Respon *transient* nampak seperti gambar 9. Adapun informasi tentang tanggapan sistem akan ditampilkan pada tabel 7.



Gambar 9. Respon Transient Kendali PID (Proporsional, Integral dan Derivatif)

Tabel 7. Informasi tanggapan siste mkendali PID

Parameter	Nilai
<i>Overshoot</i>	7.8916
<i>Rise time</i>	0.1446
<i>Settling time</i>	0.7998
<i>Steady state error</i>	0 rpm

Dari tabel 7. terlihat bahwa nilai tanggapan sistem dari kendali PID memiliki nilai *overshoot* sebesar 7.8916, *rise time* 0.1446, *settling time* 0.7998, dan *steady state error* sebesar 0 rpm. Pada penelitian ini hasil dari tanggapan sistem kendali PID terdapat nilai *overshoot* dan *rise time* yang lebih tinggi dari kendali PI. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan tiga macam kendali menjadi satu membuat respon *transient* dan tanggapan sistem belum pasti memberikan hasil paling baik. Dengan ini perlu dilakukan proses *fine tuning* agar diperoleh parameter kombinasi PID yang paling tepat dan tanggapan sistem yang optimal.

4. PENUTUP

Berdasarkan respon transien dan juga tanggapan sistem pada penelitian tugas akhir ini dapat diartikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Objek pada penelitian ini menggunakan *plant motor* listrik jenis BLDC dengan nilai parameter dan fungsi alih yang diperoleh dari *paper Practical Modelling and Comprehensive System Identification of a BLDC Motor*.
2. *Software* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *software* Matlab Simulink.
3. Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai referensi pada kecepatan 1000 rpm.
4. Metode penalaan untuk memperoleh parameter nilai PID menggunakan metode Ziegler-Nichols *second method*.
5. Nilai K_{cr} pada penelitian ini diperoleh sebesar 1.166 dan nilai P_{cr} sebesar 0.6.
6. Berdasarkan nilai K_{cr} dan P_{cr} diperoleh parameter nilai K_p sebesar 0.6996, K_i sebesar 2.3320, dan K_d sebesar 0.0525.
7. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa penerapan kendali PI memberikan hasil paling bagus dibanding dengan kendali P, dan PID.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT karena dengan seijin-Nya penulis dapat mengerjakan tugas akhir dengan baik hingga selesai. Dalam penulisan artikel publikasi ilmiah ini penulis mengucapkan terimakasih ke seluruh pihak yang telah membantu selama proses pengerjaan tugas akhir yaitu:

1. Bapak dan Ibu serta keluarga yang terus memberikan semangat, doa, dan materi sehingga penulis termotivasi dan semangat dalam mengerjakan tugas akhir dan masa studi S1.
2. Bapak Tindyo Prasetyo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang sudah meluangkan waktu serta memberi ilmunya.
3. Bapak Agus Supardi, S.T., M.T. selaku koordinator tugas akhir dan seluruh dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Seluruh kawan-kawan penulis, Naufal Wicaksono, Raden Adrian, Candra Rahman, Wido Alif, Angga W, Rizal Falafi, Dimas Lugia, dan Risma Mutiasari yang telah memberi berbagai macam sumbangsih sehingga tugas akhir ini dapat terwujud.
5. Kawan-kawan Teknik Elektro 2017, KMTE Robot Research, Rapma FM 2017, dan BEM UMS 2019 yang telah menjadi wadah serta menemani berproses selama menimba ilmu di UMS.

DAFTAR PUSTAKA

- A. S., N. M., & Mulyana, D. (2019). Pengaturan Kecepatan Motor *Brushless DC (Direct Current)* Menggunakan *Cuk Converter*. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC*, 6(2). <https://doi.org/10.21107/triac.v6i2.5990>
- Anugrah, R. F. (2020). Kontrol Kecepatan Motor *Brushless DC* Menggunakan *Six Step Comutation* Dengan Kontrol *PID (Propotional Integral Derivative)*. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC*, 7(2), 57–63. <https://doi.org/10.21107/triac.v7i2.7923>
- Baharuddin. (2014). Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis *PWM*. Sistem Komputer Universitas Hasanudin.
- Cahyono, B. (2016). Penggunaan Software *Matrix Laboratory (Matlab)* Dalam Pembelajaran Aljabar Linier. *Phenomenon : Jurnal Pendidikan MIPA*, 3(1), 45–62. <https://doi.org/10.21580/phen.2013.3.1.174>
- Dwifa, M. B., & Munadi. (2017). Pengujian Efisiensi Energi Motor BLDC 72 Volt – 7kW untuk Aplikasi Model *Electric Urban Car*. Prosiding Seminar Nasional *ReTII Ke-10 2015*, 2–7. [//journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/362](http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/362)
- Prasad, G., Ramya, N. S., Prasad, P. V. N., & Das, G. T. R. (2012). *Modelling and Simulation Analysis of the Brushless DC Motor by using MATLAB*. *Ijitee*, 1(5), 27–31.
- Rohman, F., & Nur Huda, M. A. (2019). Implementasi Dan Analisis Kendali Kecepatan Pada Motor Bldc 1 Kw Tanpa Beban Menggunakan Algoritma Pid. *Jurnal Eltek*, 17(2), 94. <https://doi.org/10.33795/eltek.v17i2.160>
- Setiawan, I. (2008). Kontrol PID Untuk Proses Industri. In *Jakarta: Elex Media Komputindo*.
- Simbolon, R. S. R. (2020). Analisis dan Simulasi Sistem Kontrol PI dan PID Menggunakan *XCOS SCILAB*. 1–114.
- Umam, A., Cahyadi, A. I., & Herdjunto, S. (2014). Sistem kendali pid dan adaptif untuk pengendalian kecepatan motor dc berbasis plc. *I(0274)*, 111–116.
- Xiang, C., Wang, X., Ma, Y., & Xu, B. (2015). *Practical modeling and comprehensive system identification of a BLDC motor*. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/879581>
- Padmaraja Yedamale. 2003. *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamental*. *Microchip Technology Inc*.